

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年10月 4日  
Date of Application:

出願番号 特願2002-292434  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 2002-292434]

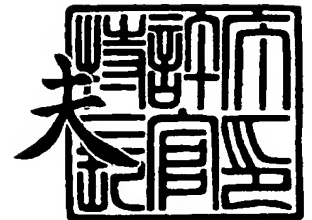
出願人 住友金属鉱山株式会社  
Applicant(s):



2003年11月 7日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 KSMK1515-P

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 C01G 15/00

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県市川市中国分 3 - 1 8 - 5 住友金属鉱山株式会社  
社 中央研究所内

【氏名】 阿部 能之

【特許出願人】

【識別番号】 000183303

【氏名又は名称】 住友金属鉱山株式会社

【代理人】

【識別番号】 100084087

【弁理士】

【氏名又は名称】 鴨田 朝雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100108877

【弁理士】

【氏名又は名称】 鴨田 哲彰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 044004

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0200551

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 酸化物透明電極膜および太陽電池

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 チタンを含有する酸化インジウムを主成分とする酸化物透明電極膜において、酸化インジウムのインジウムがチタンに、チタン／インジウムの原子数比で  $0.010 \sim 0.120$  の割合で、置換され、かつ酸化インジウムは結晶質であり、かつ酸化物透明電極膜の比抵抗が  $5.7 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  以下であることを特徴とする酸化物透明電極膜。

【請求項 2】 チタン／インジウムの原子数比で  $0.015 \sim 0.050$  の割合で、かつ酸化物透明電極膜の比抵抗が  $4.0 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の酸化物透明電極膜。

【請求項 3】 波長  $1000 \sim 1400 \text{ nm}$  における平均光透過率が  $60\%$  以上であることを特徴とする請求項 1～2 のいずれかに記載の酸化物透明電極膜。

【請求項 4】 ホール効果測定によるキャリア電子濃度が  $5.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下であることを特徴とする請求項 1～3 のいずれかに記載の酸化物透明導電膜。

【請求項 5】 ホール効果測定によるキャリア電子濃度が  $3.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下であることを特徴とする請求項 4 に記載の酸化物透明導電膜。

【請求項 6】 ホール効果測定によるキャリア電子の移動度が  $40 \text{ cm}^2/\text{Vs e c}$  以上であることを特徴とする請求項 1～5 のいずれかに記載の酸化物透明電極膜。

【請求項 7】 ホール効果測定によるキャリア電子の移動度が  $60 \text{ cm}^2/\text{Vs e c}$  以上であることを特徴とする請求項 6 に記載の酸化物透明電極膜。

【請求項 8】 チタンおよびタングステンを含有する酸化インジウムを主成分とする酸化物透明電極膜において、酸化インジウムのインジウムが、チタンおよびタングステンに、チタン／インジウムの原子数比を  $x$ 、タングステン／インジウムの原子数比を  $y$  とすると、式 (1) を満たす割合で、置換され、

$$0.019 - 1.90x \leq y \leq 0.034 - 0.28x \quad (1)$$

かつ酸化インジウムは結晶質であり、かつ比抵抗が $5.7 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 以下であることを特徴とする酸化物透明電極膜。

【請求項 9】 チタン／インジウムの原子数比を  $x$ 、タングステン／インジウムの原子数比を  $y$  とすると、式 (2)

$$0.019 - 1.27x \leq y \leq 0.034 - 0.68x \quad (2)$$

を満たす割合であり、かつ比抵抗が $3.8 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 以下であることを特徴とする請求項 8 に記載の酸化物透明電極膜。

【請求項 10】 波長 1000～1400 nm における平均光透過率が 60 % 以上であることを特徴とする請求項 8～9 のいずれかに記載の酸化物透明電極膜。

【請求項 11】 ホール効果測定によるキャリア電子濃度が $5.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項 8～10 のいずれかに記載の酸化物透明導電膜。

【請求項 12】 ホール効果測定によるキャリア電子濃度が $3.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項 11 に記載の酸化物透明導電膜。

【請求項 13】 ホール効果測定によるキャリア電子の移動度が $40 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上であることを特徴とする請求項 8～12 のいずれかに記載の酸化物透明電極膜。

【請求項 14】 ホール効果測定によるキャリア電子の移動度が $60 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上であることを特徴とする請求項 13 に記載の酸化物透明電極膜。

【請求項 15】 請求項 1～14 に記載の酸化物透明電極膜を用いたことを特徴とする太陽電池。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、低抵抗で、透過率の高い酸化物透明電極膜と、それを用いた太陽電池とに関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

酸化物透明電極膜は、高い導電性と可視光領域での高い透過率とを有する。このため、酸化物透明電極膜は太陽電池、液晶表示素子、その他各種受光素子等の電極として利用されている。特に、低抵抗で、透過率の高い酸化物透明導電膜を形成できるスパッタリングターゲットあるいはイオンプレーティングタブレットを用いて形成される酸化物透明電極膜は、赤外領域の太陽光エネルギーを十分利用することができ、太陽電池に好適である。

#### 【0003】

酸化物透明電極膜には、アンチモンやフッ素がドーピングされた酸化錫 ( $\text{SnO}_2$ ) 膜や、アルミニウムやガリウムがドーピングされた酸化亜鉛 ( $\text{ZnO}$ ) 膜や、錫がドーピングされた酸化インジウム ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) 膜などが広範に利用されている。特に錫がドーピングされた酸化インジウム膜、すなわち  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  膜はITO (Indium tin oxide) 膜と称され、低抵抗の膜が容易に得られることから良く用いられている。

#### 【0004】

これらの膜は、キャリア電子濃度の高い酸化物透明導電膜であり、近赤外域の波長での反射吸収特性に優れているため、自動車窓ガラスや建築物の窓ガラス等に用いる熱線反射膜や、各種の帯電防止膜、冷凍ショーケースなどの防曇用の透明発熱体としても利用されている。

#### 【0005】

上記の酸化物透明電極膜の製造方法としては、スパッタリング法や蒸着法、イオンプレーティング法、透明導電層形成用塗液を塗布する方法が良く用いられている。特に、スパッタリング法やイオンプレーティング法は、蒸気圧の低い材料を用いて被成膜物質（以下、単に「基板」と示す。）上に膜を形成する場合や、精密な膜厚制御が必要とされる際に有効な手法であり、操作が非常に簡便であることから広範に利用されている。

#### 【0006】

スパッタリング法では、一般に、約  $10\text{ Pa}$  以下のアルゴンガス圧のもとで、基板を陽極とし、ターゲットを陰極としてこれらの間にグロー放電を起こしてアルゴンプラズマを発生させ、プラズマ中のアルゴン陽イオンを陰極のターゲット

に衝突させ、これによってターゲット成分の粒子をはじき飛ばし、該粒子を基板上に堆積させて成膜するというものである。

#### 【0007】

スパッタリング法は、アルゴンプラズマの発生方法で分類され、高周波プラズマを用いるものは高周波スパッタリング法、直流プラズマを用いるものは直流スパッタリング法という。また、ターゲットの裏側にマグネットを配置してアルゴンプラズマをターゲット直上に集中させ、低ガス圧でもアルゴンイオンの衝突効率を上げて成膜する方法をマグネトロンスパッタ法という。通常、上記の酸化物透明電極膜の製造法には直流マグネトロンスパッタ法が採用されている。また、直流プラズマをベースにして高周波を重ねさせたプラズマを用いる場合もある。これは高周波重畳直流スパッタリングとよび、放電電圧を下げることができる。高周波重畳直流スパッタリングは、酸化物ターゲットを用いて酸化物膜を作製する場合によく利用される。低放電電圧でスパッタリングを行えるため、ターゲットから発生した酸素イオンによる膜への衝撃を少なくして良質の膜を得ることができる。

#### 【0008】

ここで、太陽電池は p 型と n 型の半導体を積層したものであり、半導体の種類によって大別される。もっとも多く使用されている太陽電池は、安全で資源量の豊富なシリコンを用いたものである。シリコンを用いた太陽電池の中には、単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファスシリコンの3種類がある。また、化合物薄膜太陽電池とよばれる  $\text{CuInSe}_2$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{CdTe}$  などの化合物半導体を用いた太陽電池も開発が行われている。何れのタイプの太陽電池でも、平面状に形成された太陽電池の、太陽光が入射する側の電極には透明導電膜が不可欠であり、従来、ITO 膜や、アルミニウムやガリウムがドーピングされた酸化亜鉛 ( $\text{ZnO}$ ) 膜が利用されてきた。

#### 【0009】

ここで用いられる透明導電膜に要求される特性には、低抵抗であることと、太陽光の透過率が高いことである。太陽光のスペクトルは  $350\text{ nm}$  の紫外線から  $2500\text{ nm}$  の赤外線までを含み、これらの光エネルギーを有効に電気エネルギー

ーに変換できるよう、なるべく広い波長範囲の光を透過できる透明導電膜が必要とされる。

#### 【0010】

一般に、物質に光が入射すると、一部は反射され、残りの一部は物質内に吸収され、更にその残りが透過される。In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系やZnO系の透明導電材料はn型半導体であり、キャリア電子が存在して、その移動が電気伝導に寄与する。このような透明導電膜中のキャリア電子は赤外線を反射したり吸収したりする。膜中のキャリア電子密度が多くなると赤外線の反射と吸収は多くなる（「透明導電膜の技術」、日本学術振興会編、オーム社、p.55～57に記載）。つまり、キャリア電子密度が多くなると赤外線の透過を低下させる。赤外線の透過を低下させないためのキャリア電子濃度は $5.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $3.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

#### 【0011】

従来用いられていた前記ITO膜や酸化亜鉛（ZnO）膜は、キャリア電子密度が $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるから、低抵抗であるが、1000nm以上の赤外線を吸収したり反射したりして、ほとんど通さない。

#### 【0012】

また、一般に、物質の比抵抗 $\rho$ は、キャリア電子密度 $n$ とキャリア電子の移動度 $\mu$ の積に依存する（ $1/\rho = en\mu$ 、 $e$ ：電荷素量）。赤外線透過率を上げるためには、キャリア電子をなるべく少なくすればよいが、比抵抗 $\rho$ を小さくするために移動度 $\mu$ を大きくする必要がある。

#### 【0013】

従来材料の低抵抗の酸化物電極膜の移動度は、例えばITO膜では約20～30 cm<sup>2</sup>/Vsである。酸化インジウム（In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）系などのn型半導体のキャリア電子の移動度は、主に、イオン化不純物散乱や中性不純物散乱などに支配されていると言われている（不純物は、イオンの状態で含まれる不純物をイオン化不純物、周囲に余分な酸素が吸着して中性の状態で含まれる不純物を中性不純物と呼んでいる）。キャリア電子を増大させるために添加する不純物元素の量が多くなると、キャリア電子は、散乱され、その移動度は低下する。

## 【0014】

I T Oのような材料でも酸素欠損を少なくするような成膜、つまり、スパッタ時に酸素の導入量を増やすことによって、キャリア電子を少なくして赤外線透過率を上げることが可能である。しかし、この方法では中性不純物が増大してしまい、それによる移動度の著しい低下が生じ、電気抵抗率が上がってしまう。

## 【0015】

透明導電膜としては、チタンを添加した酸化インジウム膜も、従来から知られている。例えば、最も古いものでは、J. L. V o s s e nの記した文献(R C A R e v i e w、1971年32巻、p. 289~296)がある。この文献は、R FスパッタリングによるI T O膜の特性の記述が中心であるが、スズ以外の不純物としてT i O<sub>2</sub>を20モル%添加したI n<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜の作製例が記されている。しかし、この膜の組成は、本発明の膜組成と著しく異なり、当該膜の電気抵抗率(比抵抗)は $7.5 \times 10^{-1} \Omega \text{ cm}$ と著しく高い。

## 【0016】

また、特開昭59-204625号公報には、酸化チタンを5 w t %含む酸化インジウムターゲットを用いて、スパッタリング法で、ポリエチレンテレフタレートフィルム上に、チタンを含む酸化インジウム膜を製造する方法が記載されている。しかし、ポリエチレンテレフタレートのような有機高分子物質は、80℃以上に加熱すると熔融してしまうため、室温から80℃までの基板温度でしかスパッタリングによる成膜が行えず、このような条件で作られた膜の構造は非晶質か、一部に結晶相が混在した非晶質である。また、この公報には、キャリア電子濃度や移動度、赤外線透過率に関する記載がない。

## 【0017】

特開平9-209134号公報には、チタンを含む酸化インジウムターゲットと、それからスパッタリング法で作製した膜の特性について記載されている。この公報では、タッチパネル用の高い比抵抗の酸化物電極膜を狙っており、実施例では $1.0 \times 10^{-3} \sim 9.4 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$ の高い比抵抗のチタンを含む酸化インジウム膜が記されている。また比較例のチタンを含む酸化インジウム膜も、最も比抵抗の低いもので $0.6 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$ の比抵抗である。何れもかなり高い



比抵抗を有している。

#### 【0018】

I T Oをベースにしてこれにチタンを添加した膜材料に関する特許公報もいくつかある。しかし、スズを含んでいるために本発明の膜とは明らかに区別される。すなわち、酸化インジウム膜中にスズが含まれると、従来から知られているように大量のキャリア電子を放出するため、キャリア電子密度が高くて、赤外光領域の透過率の低い膜しか得られない。たとえば、特開平9-161542号公報には、タッチパネル用のチタンとスズを添加した酸化インジウム膜が記載されている。しかしこの公報で記されている比抵抗は $9.6 \times 10^{-4}$ 以上と高くなっている。

#### 【0019】

また、特開平6-349338号公報においても、I T Oもしくは酸化インジウムにチタンを添加した膜が記載されている。しかし基板としてポリエチレンテレフタレートの有機高分子成形物を用いているため、加熱しながらのスパッタ成膜は困難である。有機高分子の溶融しない低温（100℃以下）でスパッタ成膜を行うと、通常、膜構造は完全に非晶質もしくは結晶相を一部で含む非晶質しか得られず、結晶膜とは明らかに異なっている。また、シート抵抗と膜厚が記載されているが、それらから計算した比抵抗（比抵抗＝シート抵抗×膜厚）は高い値を示している。

#### 【0020】

特開平7-54132号公報には、焼結体の密度を上げるために50～500 ppmのTiを添加したI T O焼結体ターゲット（SnO<sub>2</sub>量10wt%）が記されており、このターゲットを用い、100～300℃の基板加熱を行いながらスパッタリングで作製した $1.7 \sim 2.9 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ の低抵抗の酸化物電極膜が記されている。しかし、この膜のキャリア濃度と移動度、赤外光領域の透過特性についての記載はなく、I T Oベースの材料であるため、キャリア電子発生に寄与する添加元素のほとんどはスズであり、従来のI T O並に高いキャリア濃度のため、赤外光の透過率は低いものと判断される。

#### 【0021】

一方、赤外線透過率の高い酸化インジウム系の酸化物透明電極膜として、本発明者らは特願 2 0 0 2 - 2 0 0 5 3 4 号公報にて、タングステンを含有する酸化インジウム材料を提案した。この公報では、基板温度を 2 0 0 ~ 3 0 0 ℃にして赤外線透過率の高い低抵抗の酸化物透明電極を作製している例を記載してある。この公報記載の酸化物透明電極膜は、例えば 1 5 0 ℃という低温で成膜すると比抵抗が上がることを示している。酸化物透明電極膜のスパッタリングによる製造では、基板温度が低いほど、加熱時間の短縮と基板加熱電力の軽減が実現できるため、この発明では、製造コストと生産性の点で課題を残していた。

**【 0 0 2 2 】**

なお、チタンとタングステンを共に含有する低抵抗の酸化インジウムについては、これまでに報告されていない。

**【 0 0 2 3 】****【特許文献 1】**

特開昭 5 9 - 2 0 4 6 2 5 号公報

**【 0 0 2 4 】****【特許文献 2】**

特開平 9 - 2 0 9 1 3 4 号公報

**【 0 0 2 5 】****【特許文献 3】**

特開平 9 - 1 6 1 5 4 2 号公報

**【 0 0 2 6 】****【特許文献 4】**

特開平 6 - 3 4 9 3 3 8 号公報

**【 0 0 2 7 】****【特許文献 5】**

特開平 7 - 5 4 1 3 2 号公報

**【 0 0 2 8 】****【特許文献 6】**

特願 2 0 0 2 - 2 0 0 5 3 4 号公報

## 【0029】

## 【非特許文献1】

透明導電膜の技術、日本学術振興会編、オーム社、p.55～57

## 【0030】

## 【非特許文献2】

J. L. V o s s e n : R C A R e v i e w、1971年32巻、p. 289～296)

## 【0031】

## 【発明が解決しようとする課題】

上記ITO膜や酸化亜鉛（ZnO）膜は、低抵抗で可視光領域での透過率が高いものの、赤外領域での透過率が低く、赤外領域の太陽光エネルギーを十分利用することができなかった。透明導電膜による赤外線反射や吸収はキャリア電子密度が大きいほど大きくなることから、これらのITO膜や酸化亜鉛（ZnO）膜で赤外領域での透過率が低いのは、低抵抗の裏返しとしてキャリア電子密度が高いためと考えられる。

## 【0032】

本発明は、上記課題を克服することを目的に提案された材料であり、可視光領域だけでなく赤外線領域においても透過性に優れ、しかも低抵抗値を有する酸化物透明電極膜を提供することを目的としている。また、本発明の酸化物透明電極膜を太陽電池に用いることによって、従来では不可能であった赤外線領域の太陽光エネルギーの高効率利用を可能にする。

## 【0033】

## 【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本発明に係る酸化物透明電極膜は、次のような構成としたものである。

## 【0034】

すなわち、本発明の第1の特徴による酸化物透明電極膜は、チタンを含有する酸化インジウムを主成分とし、該酸化インジウムは結晶質であり、該酸化インジウムのインジウムがチタンに、チタン／インジウムの原子数比で0.010～0

． 120 の割合で置換され、かつ酸化物透明電極膜の比抵抗が  $5.7 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  以下であることを特徴とする。

#### 【0035】

チタン／インジウムの原子数比で 0.015～0.050 の割合で、かつ酸化物透明電極膜の比抵抗が  $4.0 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  以下であることがさらに好ましい。

#### 【0036】

本発明の第 2 の特徴による酸化物透明電極膜は、チタンおよびタングステンを含有する酸化インジウムを主成分とし、該酸化インジウムは結晶質であり、該酸化インジウムのインジウムが、チタンおよびタングステんに、チタン／インジウムの原子数比を  $x$ 、タングステン／インジウムの原子数比を  $y$  とすると、式 (1)

$$0.019 - 1.90x \leq y \leq 0.034 - 0.28x \quad (1)$$

を満たす割合で、置換され、かつ比抵抗が  $5.7 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  以下であることを特徴とする。

#### 【0037】

チタン／インジウムの原子数比を  $x$ 、タングステン／インジウムの原子数比を  $y$  とすると、式 (2)

$$0.019 - 1.27x \leq y \leq 0.034 - 0.68x \quad (2)$$

を満たす割合で、かつ比抵抗が  $3.8 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  以下であることがさらに好ましい。

#### 【0038】

本発明の酸化物透明電極膜は、波長 1000～1400 nm における平均光透過率が 60% 以上であることが好ましい。

#### 【0039】

本発明の酸化物透明電極膜は、ホール効果測定によるキャリア電子濃度が  $5.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下、さらには  $3.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下であることが好ましい。

#### 【0040】

本発明の酸化物透明電極膜は、ホール効果測定によるキャリア電子の移動度が  $40 \text{ cm}^2/\text{V s e c}$  以上、さらには  $60 \text{ cm}^2/\text{V s e c}$  以上であることが好ましい。

#### 【0041】

本発明は、また前記酸化物透明電極膜を用いた太陽電池を提供する。ここで言う太陽電池とは、例えば、単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファスシリコンを用いたシリコン系太陽電池、 $\text{CuInSe}_2$ 、 $\text{CuGaInSe}_2$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{CdTe}$  などの化合物半導体を用いた太陽電池、さらに色素増感型太陽電池などが含まれるが、これらに限定したものではない。

#### 【0042】

##### 【発明の実施の形態】

本発明に係る酸化物透明電極膜は、スパッタリング法あるいはイオンプレーティング法により成膜することができる。すなわち、スパッタリング法では、原料であるスパッタリングターゲットとしてチタンを含む酸化インジウム焼結体ターゲットを用い、スパッタリング装置内に基板と前記複合ターゲットを配置し、酸素ガスを含むアルゴン不活性ガス雰囲気中で、前記基板を所定の温度加熱し、この基板と前記ターゲットとの間に電界を印加してターゲット基板間にプラズマを発生させることによって、酸化インジウムのインジウムの一部をチタンで置換した酸化物透明電極膜を基板上に作製する。

#### 【0043】

一方、イオンプレーティング法では、原料であるイオンプレーティング用タブレットとして、チタンを含む酸化インジウム焼結体タブレットを用い、イオンプレーティング装置内に基板と、前記タブレットを銅ハース内に配置し、酸素ガスを含むアルゴン不活性ガス雰囲気中で、前記基板を所定の温度加熱し、前記銅ハースから電子銃を用いてタブレットを蒸発させ、基板付近でプラズマを発生させることによって、タブレット蒸気をイオン化し、酸化インジウムのインジウムの一部をチタンで置換した酸化物透明電極膜を基板上に作製する。

#### 【0044】

なお、上記ターゲットあるいはタブレット中のチタンの含有量を変えることに

より、膜中のチタンの含有量を変化させることができる。この時、作製される酸化物透明電極膜の構造や結晶性は、膜中のチタンの含有量、基板加熱温度、不活性ガス雰囲気中の酸素分圧、成膜速度等の成膜条件に依存する。

#### 【0045】

本発明の結晶性の酸化物透明電極膜を作製するには、基板温度を加熱（例えば  $150^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ ）する必要がある。

#### 【0046】

また、チタンおよびタングステンを含む酸化インジウム焼結体ターゲットを用いた、上記と同様のスパッタリング法によって、酸化インジウムを主成分として、酸化インジウムのインジウムの一部をチタンとタングステンを置換した結晶質の酸化物透明電極膜を得ることができる。このような方法は一例であるが、こうして、酸化インジウムを主成分としてチタンあるいは／およびタングステンを含有する結晶質の酸化物透明電極膜、すなわち本発明の酸化物透明電極膜を得ることができる。

#### 【0047】

本発明者等は、上記方法に基づくスパッタリング法あるいはイオンプレーティング法により、種々の組成の酸化物透明電極膜を形成し、その組成、構造、電気特性、光学特性を調べた。

#### 【0048】

その結果、酸化インジウムを主成分とし、該酸化インジウムのインジウムをチタンに、チタン／インジウム原子比で  $0.010 \sim 0.120$  の割合で置換した結晶性の酸化物透明電極膜、或いは酸化インジウムを主成分とし、該酸化インジウムのインジウムをチタンあるいはタングステんに、チタン／インジウム原子比が  $0.010 \sim 0.120$  の割合で、タングステン／インジウム原子比が  $0.019 \sim 0.034$  の割合で置換した結晶性の酸化物透明電極膜を作製すると、キャリア電子濃度が  $5.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下と従来のITO膜より低く、かつ比抵抗が  $1.9 \sim 5.8 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  の低電気抵抗率を実現できる。

#### 【0049】

さらに好ましくは、酸化インジウムを主成分とし、該酸化インジウムのインジ

ウムをチタンに、チタン／インジウム原子比で0.015～0.050の割合で置換した酸化物透明電極膜、或いは、酸化インジウムを主成分とし、該酸化インジウムのインジウムをチタン及びタングステンに、チタン／インジウム原子比が0.015～0.050で、タングステン／インジウム原子比が0.019～0.034の割合で置換した結晶性の酸化物透明電極膜を作製すると、キャリア電子濃度が $5.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下と従来のITO膜より低く、かつ比抵抗が $1.9 \sim 4.0 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ の低電気抵抗率を実現できる。

#### 【0050】

これらの膜はキャリア電子濃度が $5.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $3.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下と低いため、赤外光透過率が高く、波長1000～1400 nmにおける平均光透過率が60%以上であり、従来の材料にはない酸化物電極膜であることがわかる。

#### 【0051】

上記特性を有する膜は、赤外領域での透過率が極めて高く、低抵抗であるため太陽電池の透明電極として有用である。

#### 【0052】

上記したように、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 系や $\text{ZnO}$ 系の透明導電材料はn型半導体であり、キャリア電子が存在してその移動が電気伝導に寄与する。このような透明導電膜中のキャリア電子は赤外線を反射したり吸収したりする。つまり、キャリア電子密度が多くなると赤外線の透過を低下させることになる。赤外線の透過を低下させないためには、キャリア電子濃度は $5.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $3.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが求められる。

#### 【0053】

従来用いられていた低抵抗のITO膜やアルミニウムやガリウムがドーピングされた酸化亜鉛( $\text{ZnO}$ )膜は、キャリア電子密度が $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるのに対して、本発明の上記の酸化物透明電極膜は、キャリア電子密度が $5.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下と低いため赤外線の透過が良いため、1000 nm以上の赤外線が、膜に吸収されたり反射されたりすることなく、膜を通過する。

#### 【0054】

また、本発明の酸化物電極膜は、キャリア電子密度が従来の酸化物電極膜より低い、キャリア電子の移動度が  $40 \text{ cm}^2/\text{V s e c}$  以上であり、作製条件によっては  $60 \text{ cm}^2/\text{V s e c}$  以上の膜も実現でき、従来の低抵抗酸化物電極膜の移動度（例えばITO膜では約  $20 \sim 30 \text{ cm}^2/\text{V s e c}$ ）と比べて極めて大きい、電気抵抗率は従来の低抵抗酸化物電極膜と同程度に低くなる。したがって、本発明の酸化物透明電極膜は、少ないキャリア電子濃度の状態で、高い移動度を示す材料であるため、可視光のみならず赤外光の透過率も高く、かつ低電気伝導率を実現できるのである。

#### 【0055】

ところで、J. L. V o s s e n の記した文献（RCA R e v i e w、1971年32巻、p. 289～296）における  $\text{TiO}_2$  を20モル%添加した  $\text{In}_2\text{O}_3$  膜の組成は、本発明の組成と大きく異なるし、当該膜の電気抵抗率は  $7.5 \times 10^{-1} \Omega \text{ cm}$  と著しく高く、本発明の膜の電気抵抗率とは明らかに異なる。

#### 【0056】

また、特開昭59-204625号公報におけるポリエチレンテレフタレートフィルムのような有機高分子物質上に作られた膜は、本発明のような  $150^\circ\text{C}$  以上の基板加熱を行いながらスパッタリング成膜で作製した完全に結晶質の膜とは明らかに異なる。

#### 【0057】

さらに、特開平9-209134号公報における膜の比抵抗は、 $1.0 \times 10^{-3} \sim 9.4 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$  と高く、その比較例に  $0.6 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$  の比抵抗があるが、何れも本発明の膜の比抵抗より高い。

#### 【0058】

さらに、特開平9-161542号公報の酸化インジウム膜の比抵抗は  $9.6 \times 10^{-4}$  以上と高く、本発明における  $5.8 \times 10^{-4}$  以下の膜とは明らかに異なる。

#### 【0059】

さらに、特開平6-349338号公報における膜は、基板としてポリエチレンテレフタレートの有機高分子成形物を用いているため、本発明の結晶膜とは明



らかに異なる。また、そのシート抵抗と膜厚から計算した比抵抗（比抵抗＝シート抵抗×膜厚）は本発明のものより明らかに高い。

#### 【0060】

さらに、特開平 7—5 4 1 3 2 号公報に記載された  $1.7 \sim 2.9 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  の低抵抗の酸化物電極膜は、ITO ベースの材料であるためキャリア電子発生に寄与する添加元素のほとんどはスズであり、赤外光の透過率は低いものと判断され、本発明の膜とは特性が明らかに異なる。

#### 【0061】

さらに、特願 2 0 0 2 - 2 0 0 5 3 4 号公報における酸化物透明電極膜は、例えば 1 5 0℃ という低温で成膜すると比抵抗が上がる。それに対して、本発明の酸化物透明電極膜は、スパッタリングにおける基板加熱温度を 1 5 0℃ という低温に設定しても低い抵抗の膜が得られる。酸化物透明電極膜のスパッタリングによる製造では、基板温度が低いほど、加熱時間の短縮と基板加熱電力の軽減が実現できるため、製造コストの低減と生産性を上げることができる。よって、本発明の酸化物透明電極膜は産業上極めて有用である。

#### 【0062】

以上に述べたように、可視光領域だけでなく赤外線領域でも透過率が高く、しかも  $5.8 \times 10^{-4}$  以下の低抵抗の透明導電膜は、酸化インジウムにチタン、もしくは、チタンとタングステンを、本発明の組成範囲で含有させることによって容易に実現することが可能となったが、それだけでは難しく、適当なスパッタリング条件で成膜して作製する必要がある。特に、スパッタリング成膜中の成膜ガス中酸素量や、ガス圧、基板温度を最適にすることが必要不可欠である。

#### 【0063】

例えば、ターゲットー基板間距離が 5 0 ～ 8 0 mm で、スパッタリング成膜中の成膜ガス中酸素量はアルゴンガス量に対して 0.25 ～ 4 % であることが好ましい。また、成膜ガス圧は 0.3 ～ 1.0 Pa であることが好ましい。成膜ガス中酸素量が 0.25 % 以下だと酸化インジウム相の酸素欠損量が多く、それによるキャリア電子の発生が多くなりすぎて、赤外光領域の透過率の低い膜しか得られない。また、酸素量が 4 % 以上だと、酸化インジウム中のチタンもしくはタン

グステンの不純物元素の周囲に余分な酸素が導入されて中性不純物が増大し、キャリア電子の移動度が低下してしまい、低抵抗の膜が得られなくなってしまう。

#### 【0064】

成膜ガス圧は、スパッタリング中の基板に到達するスパッタ粒子の運動エネルギーに影響を与える。成膜ガス圧 0.3 Pa より低いと、スパッタ粒子の運動エネルギーが高すぎてスパッタ粒子による膜の再スパッタが行われ、表面の荒れた膜しかできない。また 1.0 Pa より高いと、スパッタ粒子の運動エネルギーが低すぎて、基板に到達したスパッタ粒子が基板上でマイグレーションされず、ガサガサで密度の低い膜しか得られない。このような膜は、キャリア電子の粒界散乱が大きく、比抵抗が高い。よって好ましくは 0.3 ~ 1.0 Pa の成膜ガス圧でスパッタリング成膜を実施する必要がある。

#### 【0065】

基板温度については、上記したように 150 ~ 350 °C にすることが必要である。スパッタリング中に基板を 150 ~ 350 °C に加熱することによって、完全に結晶質の膜が作製でき、チタン、もしくは、チタンおよびタングステンが酸化インジウム内のインジウム一部と置き換わって、固溶し、移動度の高くて比抵抗の低い膜が得られる。基板温度が 150 °C より低いと、一部に非晶質部分が生成し完全な結晶質の膜が作製できない。また、350 °C を超えた加熱では加熱時間に時間がかかってしまい実用上不可能である。

#### 【0066】

以下に、実施例によって更に詳しく説明する。

#### 【0067】

##### 【実施例】

##### (実施例 1 ~ 12)

所定量の  $\text{In}_2\text{O}_3$  粉末と  $\text{TiO}_2$  粉末を様々な割合で混合し、その混合体を成形した後、加熱焼結して、チタンを含有する酸化インジウム焼結体を作製した。種々のチタン含有量の酸化インジウム焼結体ターゲットから、スパッタリング法でチタンを含む酸化インジウム薄膜を作製した。すなわち、これらの焼結体を 6 インチ  $\Phi \times 5 \text{ mm t}$  に加工し、In 系合金を用いて無酸素銅製のバックグプレ

ートに貼り合わせてスパッタリング用ターゲットとした。

#### 【0068】

直流マグネトロンスパッタリング装置の非磁性体ターゲット用カソードに上記スパッタリング用ターゲットを取り付け、該ターゲットの対向面に厚み 1 mm の石英ガラス基板を取り付けた。該ターゲットと基板との距離を 50 ～ 80 mm とし、チャンバ内の真空度が  $1 \times 10^{-4}$  Pa 以下に達した時点で、純度 99.99 重量%の Ar ガスをチャンバ内に導入してガス圧 0.3 ～ 0.8 Pa とし、酸素を 0.3 ～ 4 % 成膜ガス中に導入させて、直流電力 350 W をターゲットー基板間に投入して、直流プラズマを発生させてスパッタリングを行い、ガラス基板を 200 ～ 350 °C に加熱して、200 ～ 400 nm の膜厚の酸化物透明電極膜を形成した。

#### 【0069】

得られた酸化物透明電極膜の組成を ICP 発光分析および EPMA で定量分析した。膜の結晶性を Cu K $\alpha$  線を利用した X 線回折測定で調べた。また各酸化物透明電極膜の比抵抗、キャリア電子濃度、キャリア電子移動度をホール効果測定装置（東陽テクニカ社製）を用いてファンデルパウ法（例えば、文献、物理工学実験 2 半導体技術上 庄野克房著 東京大学出版会、p. 105 に記載）によるホール効果測定で求めた。更に基板を含めた光透過率を分光光度計（日立製作所社製）で測定した。

#### 【0070】

本発明の実施例 1 ～ 12 で使用したガラス基板自体の可視光波長領域での平均光透過率は 92 % である。

#### 【0071】

酸化物透明電極膜の成膜条件、酸化物透明電極膜の組成、及び比抵抗値とキャリア電子濃度、キャリア電子移動度の測定結果を表 1 に合わせて示した。

#### 【0072】

【表 1】

	基板温度 (℃)	成膜ガス中 O <sub>2</sub> 量(%)	膜の Ti/In 原子比	比抵抗 (Ωcm)	キャリア電 子 密 度 (cm <sup>-3</sup> )	電子移動度 (cm <sup>2</sup> /Vsec)
実施例 1	300	1.0	0.010	$3.9 \times 10^{-1}$	$2.4 \times 10^{20}$	67
実施例 2	200	0.75	0.013	$5.5 \times 10^{-1}$	$1.9 \times 10^{20}$	59
実施例 3	250	1.0	0.015	$3.8 \times 10^{-4}$	$2.8 \times 10^{20}$	59
実施例 4	200	1.0	0.018	$2.2 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{20}$	68
実施例 5	200	1.0	0.019	$1.9 \times 10^{-4}$	$4.8 \times 10^{20}$	69
実施例 6	200	1.0	0.028	$2.6 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{20}$	53
実施例 7	200	1.0	0.040	$1.9 \times 10^{-4}$	$5.1 \times 10^{20}$	66
実施例 8	250	1.5	0.044	$2.3 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{20}$	72
実施例 9	200	2.0	0.050	$3.5 \times 10^{-4}$	$4.1 \times 10^{20}$	44
実施例 10	200	1.0	0.061	$5.3 \times 10^{-1}$	$2.2 \times 10^{20}$	54
実施例 11	200	1.0	0.092	$5.7 \times 10^{-1}$	$2.1 \times 10^{20}$	52
実施例 12	350	1.2	0.119	$3.8 \times 10^{-1}$	$3.5 \times 10^{20}$	47

## (電気特性)

表 1 から明らかなように、本発明の Ti/In 原子比が 0.010～0.120 のタングステンを含む酸化インジウムの酸化物透明電極膜は、キャリア電子濃度が  $5.1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下と低いが、比抵抗が  $5.5 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  以下と非常に低い電気抵抗率を有していた。ほとんどの膜のキャリア電子の移動度は  $43 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$  以上と高く、これによって低電気抵抗率が実現しているといえる。

## 【0073】

また、本発明の Ti/In 原子比が 0.015～0.050 のチタンを含む酸化インジウムの酸化物透明電極膜（実施例 3～9）は、キャリア電子濃度が  $5.1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下と低いが、比抵抗が  $1.9 \sim 3.8 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  以下の低電気抵抗率を有していた。

## 【0074】

## (結晶性)

実施例 1～12 の酸化物透明電極膜は全て結晶性の良い膜であることが X 線回折測定から明らかとなった。実施例 5 の X 線回折パターンを図 1 に示す。実施例 1～12 の酸化物透明電極膜も図 1 と同様に酸化インジウムの結晶構造に対応した強い回折ピークがみられ、結晶性の良い酸化インジウムのピックスバイト型構

造の膜であることがわり、また酸化インジウム相以外の結晶相に起因するピークは観察されなかったことから、チタンは、酸化インジウム相のインジウムに置き換わって、固溶していることがわかった。

#### 【0075】

(光透過性)

また実施例5の酸化物透明電極膜の光透過特性を図2に示すが、可視光領域だけでなく赤外光領域における光透過率は非常に高かった。この酸化物透明電極膜の1000～1400 nmの膜自体の平均光透過率は88%であった。この傾向は、実施例1～4及び実施例6～12の酸化物透明電極膜についても同じであり、可視光領域のみならず赤外光領域での光透過率は極めて高かった。1000～1400 nmの膜自体の平均光透過率は、何れも72%以上であった。

#### 【0076】

よって、このような酸化物透明電極膜を例えば太陽電池の受光部側の表面透明電極及び／あるいはpn接合部の裏側の透明電極に用いると、赤外光領域の太陽エネルギーを有効に電気エネルギーに変換することができる。

#### 【0077】

(実施例13～37)

In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末とTiO<sub>2</sub>粉末及びWO<sub>3</sub>粉末を原料として、実施例1～12と同じ条件で、TiとWを共に含む酸化インジウム焼結体を得た。この焼結体を6インチΦ×5mm tに加工し、In系合金を用いて無酸素銅製のバックングプレートに貼り合わせてスパッタリング用ターゲットとした。実施例1～12と同様の方法で、酸化物透明電極膜をガラス基板上に作製し、同様の手順で特性を評価した。その結果を表2に示す。

#### 【0078】

【表 2】

	基板温度 (℃)	成膜ガス中 O <sub>2</sub> 量(%)	膜 の Ti/In 原子比	膜 の W/In 原子比	比抵抗 (Ωcm)	キャリア電 子 密 度 (cm <sup>-3</sup> )	電子移動度 (cm <sup>2</sup> /Vsec)
実施例 13	300	1.5	0.002	0.019	$3.2 \times 10^{-4}$	$2.9 \times 10^{20}$	67
実施例 14	250	1.5	0.002	0.029	$3.7 \times 10^{-4}$	$3.4 \times 10^{20}$	50
実施例 15	350	2.0	0.004	0.023	$3.9 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{20}$	73
実施例 16	200	1.0	0.012	0.005	$1.9 \times 10^{-4}$	$5.5 \times 10^{20}$	60
実施例 17	250	3.0	0.012	0.015	$2.2 \times 10^{-4}$	$4.1 \times 10^{20}$	69
実施例 18	200	0.5	0.016	0.022	$2.1 \times 10^{-4}$	$4.8 \times 10^{20}$	62
実施例 19	200	0.3	0.024	0.002	$3.0 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{20}$	50
実施例 20	250	1.5	0.024	0.016	$2.8 \times 10^{-4}$	$3.9 \times 10^{20}$	57
実施例 21	200	1.5	0.040	0.006	$3.8 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{20}$	55
実施例 22	250	1.0	0.002	0.033	$4.1 \times 10^{-4}$	$3.5 \times 10^{20}$	44
実施例 23	250	3.0	0.004	0.013	$4.3 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{20}$	54
実施例 24	200	2.5	0.008	0.005	$4.2 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{20}$	57
実施例 25	200	1.5	0.012	0.001	$4.8 \times 10^{-4}$	$3.1 \times 10^{20}$	42
実施例 26	250	1.5	0.012	0.030	$5.1 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{20}$	56
実施例 27	250	1.0	0.024	0.027	$4.4 \times 10^{-4}$	$3.4 \times 10^{20}$	42
実施例 28	200	1.5	0.032	0.013	$4.3 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{20}$	45
実施例 29	250	1.5	0.040	0.009	$4.5 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{20}$	46
実施例 30	200	1.5	0.040	0.021	$4.5 \times 10^{-4}$	$3.1 \times 10^{20}$	45
実施例 31	200	4.0	0.048	0.002	$4.5 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{20}$	51
実施例 32	200	2.0	0.060	0.002	$4.3 \times 10^{-4}$	$3.1 \times 10^{20}$	47
実施例 33	250	3.0	0.060	0.017	$5.1 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{20}$	56
実施例 34	250	1.5	0.072	0.004	$4.8 \times 10^{-4}$	$3.1 \times 10^{20}$	42
実施例 35	250	1.5	0.092	0.008	$5.2 \times 10^{-4}$	$2.8 \times 10^{20}$	43
実施例 36	250	1.5	0.101	0.002	$5.7 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{20}$	41
実施例 37	250	1.0	0.116	0.001	$5.6 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{20}$	43

(電気特性)

表 2 から明らかなように本発明の Ti/In 原子比が 0.010~0.120 の割合でチタンを含み、かつ、タンゲステン/インジウム原子比が 0.019~0.034 の割合でタンゲステンを含む酸化インジウムの酸化物透明電極膜は、キャリア電子濃度が  $5.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下と低く、かつ比抵抗が  $5.5 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  以下の低電気抵抗率を有していた。キャリア濃度が低いにも関わらずこのような低電気抵抗率を示すのは、表 2 に示すようにキャリア電子の移動度が非常に高いからである。

【0079】

(結晶性)

実施例 13~37 の酸化物透明電極膜は、X 線回折測定から実施例 5 の図 1 と

同様の回折パターンを示し、結晶性の良い酸化インジウムのビックスバイト型構造の膜であることがわり、また酸化インジウム相以外の結晶相に起因するピークは観察されなかったことから、チタンおよびタンゲステンは、酸化インジウム相のインジウムに置き換わって、固溶していることがわかった。

### 【0080】

(光透過性)

また、実施例 17 の酸化物透明電極膜の光透過特性を図 3 に示す。可視光領域のみならず赤外領域でも透過率が極めて高いことがわかる。このような傾向は実施例 13～16 および実施例 18～37 においても見られ、可視光領域のみならず赤外領域でも透過率が極めて高かった。

### 【0081】

実施例 13～37 の酸化物透明電極膜について、基板の透過率を差し引いた膜自体の 1000～1400 nm における平均光透過率を求めたところ、66～89%であった。よって、このような膜を例えば太陽電池の受光部側の表面透明電極及び／あるいは p n 接合の裏側の透明電極に用いると、赤外光領域の太陽エネルギーを有効に電気エネルギーに変換することができる。

### 【0082】

(比較例 1～3)

従来よく用いられているスズを含む酸化インジウム (ITO) 焼結体ターゲットを用いて、実施例 1～7 と同様の方法で ITO 酸化物透明電極膜を製造した。また、実施例と同様の方法で特性の評価を実施した。その結果を表 3 に示す。

### 【0083】

【表 3】

	基板温度 (℃)	成膜ガス 中 O <sub>2</sub> 量 (%)	膜の Sn/In 原子比	比抵抗 (Ωcm)	キャリア電 子 密 度 (cm <sup>-3</sup> )	電子移動度 (cm <sup>2</sup> /Vsec)
比較例 1	300	1.0	0.075	$1.3 \times 10^{-4}$	$2.9 \times 10^{21}$	17
比較例 2	250	1.5	0.074	$1.6 \times 10^{-4}$	$1.8 \times 10^{21}$	25
比較例 3	250	2.0	0.075	$1.8 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{21}$	32

(結晶性)

比較例 1～3 の酸化物透明電極膜は全て結晶性の良い膜であることが X 線回折

測定から明らかとなった。

【0084】

(電気特性)

表3から明らかなように、従来のITO膜では比抵抗は $2.0 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 以下で低いが、キャリア電子濃度が $1.1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ 以上と高い。

【0085】

(光透過性)

また、比較例1～3の膜の光透過特性を図4に示すが、キャリア電子濃度が高いために1000nm以上の波長の赤外領域で透過率の激しい減少がみられ、このような膜を太陽電池の透明電極に用いると、赤外領域の太陽光エネルギーを有効に利用することができない。

【0086】

(比較例4)

同様に、従来よく用いられているガリウムを3%含む酸化亜鉛焼結体ターゲットを用いて、成膜ガスをArガスのみにした以外は実施例1～8と同じ方法で、ガリウム含有酸化亜鉛透明電極膜を製造した。

【0087】

(電気特性)

実施例と同様の評価を実施したところ、比抵抗は $1.9 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ で、キャリア濃度は $1.5 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ でキャリア移動度は $22 \text{cm}^2/\text{Vs}$ であった。

【0088】

(光透過性)

また、膜の透過特性を図5に示すが、図から明らかなように1000nm以上の波長の赤外線領域の光透過率は著しく低いことがわかる。

【0089】

よって、このような膜を太陽電池の光入射側の透明電極に用いると、赤外領域の太陽光エネルギーを有効に利用することができない。

【0090】



(実施例 38～46、比較例 5～7)

実施例 1～12 と同様の手順で作製したチタンを含む酸化インジウム、及び、チタンとタングステンを含む酸化インジウムの焼結体ターゲットを用い、基板温度を 150℃ と低温に設定したスパッタリングによる酸化物透明電極膜の作製を実施した(実施例 38～46)。基板温度以外は実施例 1～12 と同様のスパッタリング条件でガラス基板上に成膜し、同様の手順で作製した酸化物透明電極膜の評価を実施した結果を表 4 に示す。

### 【0091】

また、比較例 5～7 として、実施例 1～12 と同様の手順で作製したタングステンを含みチタンを含まない酸化インジウムの焼結体ターゲットを用い、実施例 38～46 と全く同じスパッタリング条件による成膜を実施し、特願 2002-200534 号記載のタングステンを含み酸化インジウム膜を作製した。基板温度以外は実施例 1～12 と同様のスパッタリング条件でガラス基板上に成膜し、同様の手順で評価を実施した結果を表 4 に示す。

### 【0092】

【表 4】

	基板温度 (℃)	成膜ガス中 O <sub>2</sub> 量(%)	膜 の Ti/In 原子比	膜 の W/In 原子比	比抵抗 (Ωcm)	キャリア電 子 密 度 (cm <sup>-3</sup> )	電子移動度 (cm <sup>2</sup> /Vsec)
実施例 38	150	1.0	0.019	-	3.5×10 <sup>-4</sup>	2.7×10 <sup>20</sup>	66
実施例 39	150	1.0	0.035	-	3.3×10 <sup>-4</sup>	2.9×10 <sup>20</sup>	65
実施例 40	150	1.0	0.050	-	3.6×10 <sup>-4</sup>	3.2×10 <sup>20</sup>	54
実施例 41	150	1.0	0.004	0.019	3.7×10 <sup>-4</sup>	2.8×10 <sup>20</sup>	60
実施例 42	150	1.0	0.006	0.024	3.5×10 <sup>-4</sup>	3.0×10 <sup>20</sup>	60
実施例 43	150	1.0	0.002	0.030	4.5×10 <sup>-4</sup>	3.1×10 <sup>20</sup>	45
実施例 44	150	1.0	0.020	0.019	4.0×10 <sup>-4</sup>	2.8×10 <sup>20</sup>	56
実施例 45	150	1.0	0.012	0.024	3.8×10 <sup>-4</sup>	2.9×10 <sup>20</sup>	57
実施例 46	150	1.0	0.010	0.030	4.1×10 <sup>-4</sup>	2.8×10 <sup>20</sup>	54
比較例 5	150	1.0	-	0.019	5.7×10 <sup>-4</sup>	3.6×10 <sup>20</sup>	30
比較例 6	150	1.0	-	0.024	5.3×10 <sup>-4</sup>	3.7×10 <sup>20</sup>	32
比較例 7	100	1.0	-	0.030	5.9×10 <sup>-4</sup>	3.8×10 <sup>20</sup>	28

(電気特性)

表 4 から明らかなように、本発明の実施例 31～33 のチタンを含む酸化インジウムの酸化物透明電極膜、実施例 38～46 のチタン及びタングステンを含み酸化インジウムの酸化物透明電極膜は、基板温度を 150℃ の低温加熱でスパッ

タリング成膜したにも関わらず、比抵抗が $4.5 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 以下の低電気抵抗率を有していた。これは、表4に示すようにキャリア電子濃度が低いからである。

#### 【0093】

(結晶性)

実施例38～46の酸化物透明電極膜は、X線回折測定から実施例5の図1と同様の回折パターンを示し、結晶性の良い酸化インジウムのビックスバイト型構造の膜であることがわかった。また、酸化インジウム相以外の結晶相に起因するピークは観察されなかったことから、チタンおよびタングステンは酸化インジウム相に置換して固溶していることがわかった。

#### 【0094】

(光透過性)

また、膜自体の光透過率は、可視光のみならず赤外光領域でも高く、1000～1400 nmの平均光透過率は67%以上であった。

#### 【0095】

よって、本発明の酸化物透明電極膜は、基板を150℃の低温に加熱したスパッタリングでも作製することができ、この膜を、太陽電池の受光部側の電極に用いても赤外光領域の太陽エネルギーを有効に電気エネルギーに変換することができる。

#### 【0096】

また、表4の比較例5～7には、実施例31～39と同様のスパッタリング条件、すなわち基板温度を150℃の低温に加熱したスパッタリングで作製した、チタンを含まないでタングステンを含む酸化インジウム薄膜の電気特性を示す。

#### 【0097】

比較例5～7の膜は、キャリア電子の濃度が低く、赤外光領域でも透過率の高い膜が得られたが、比抵抗が $5.3 \sim 5.9 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ と、実施例31～39の膜と比べて高かった。この原因は、キャリア電子の移動度が、 $28 \sim 32 \text{ cm}^2/\text{Vs e c}$ と、実施例38～46の膜と比べて低いことによる。よって、従来のタングステンを含む酸化インジウム薄膜よりも、本発明のタングステンを含

む酸化インジウム薄膜あるいはタンゲステン及びチタンを含む酸化インジウム薄膜は、150℃の低温基板加熱成膜でも、低抵抗で可視光および赤外光の透過率の高い膜が得られる。透明導電膜のスパッタリングによる製造では、基板温度が低いほど、加熱時間の短縮、基板加熱電力の軽減が実現でき、製造コストの低減と生産性を上げることができる。よって産業上極めて有用な材料といえる。

#### 【0098】

実施例1～46の本発明の酸化物透明電極膜は、例えば図6に示すように太陽電池の受光部側の電極及び／またはpn接合の裏側の透明電極として用いると、可視光だけでなく赤外光も通すため、幅広い波長領域の太陽光エネルギーを有効に電気エネルギーに変換することが可能となる。

#### 【0099】

(比較例8)

実施例1と同様の製造条件で、原料の配合比のみ変えて作製したターゲットから、実施例1と同じ条件で、チタン／インジウムの原子数比が0.130の割合の透明導電膜を得た。その結果、 $6.5 \sim 7.5 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ の比抵抗を示し、 $5.7 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 以下の比抵抗の膜は実現しなかった。

#### 【0100】

(比較例9)

実施例1と同様の製造条件で、原料の配合比のみ変えて作製したターゲットから、実施例1と同じ条件で、チタン／インジウムの原子数比が0.005の割合の透明導電膜を得た。その結果、 $1.1 \sim 2.5 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$ の比抵抗を示し、 $5.7 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 以下の比抵抗の膜は実現しなかった。

#### 【0101】

##### 【発明の効果】

以上詳述したように、本発明に従えば、可視光領域だけでなく赤外線領域も透過性に優れ、しかも低抵抗値を有する酸化物透明電極膜を提供することができる。また、本発明の酸化物透明電極膜は、150℃の低温基板加熱のスパッタリング成膜でも製造することが可能であるため、製造コストの大幅な軽減と生産性を上げることが可能となり、産業上極めて有用な発明といえる。本発明の酸化物透

明電極膜を各種の太陽電池の光入射側の透明電極に用いることによって、従来では不可能であった赤外線領域の太陽光エネルギーを高効率に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 実施例 5 の酸化物透明電極膜の X 線回折パターンを示すグラフである。

【図 2】 実施例 5 の酸化物透明電極膜をガラス基板上に形成したときの透過率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3】 実施例 1 7 の酸化物透明電極膜をガラス基板上に形成したときの透過率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4】 比較例 1 ～ 3 の酸化物透明電極膜をガラス基板上に形成したときの透過率の波長依存性を示すグラフである。

【図 5】 比較例 4 の酸化物透明電極膜をガラス基板上に形成したときの透過率の波長依存性を示すグラフである。

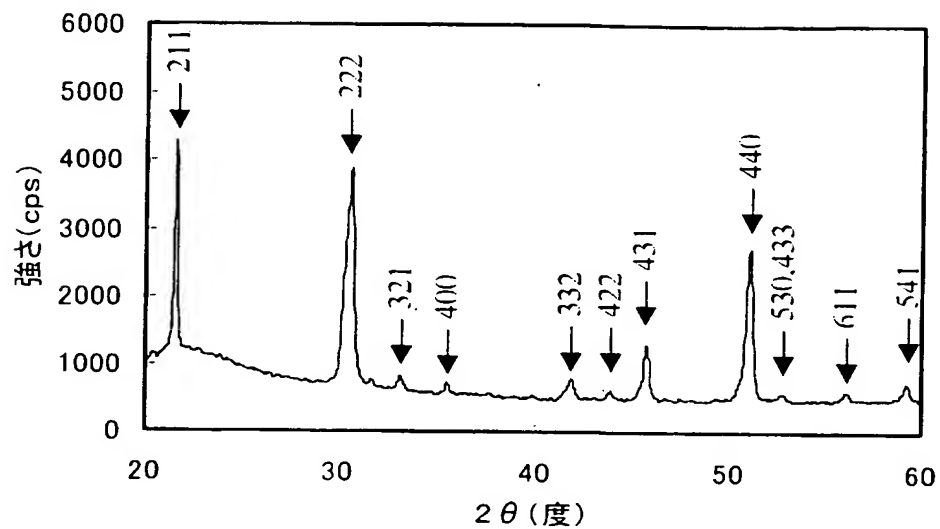
【図 6】 本発明の酸化物透明電極膜が適用される一例となる太陽電池の概略構成を示す説明図である。

【符号の説明】

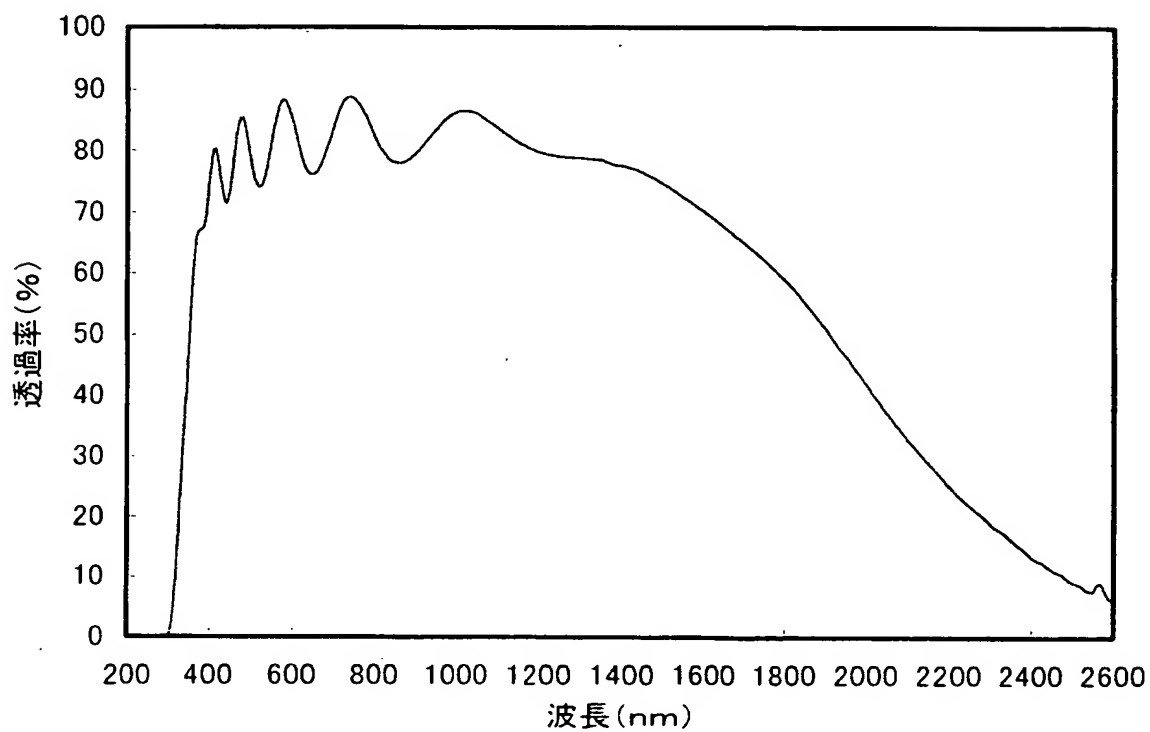
- 1 ガラス基板
- 2 表側（受光部側）透明電極膜
- 3 p 型アモルファスシリコン膜
- 4 不純物を含まないアモルファスシリコン膜
- 5 n 型アモルファスシリコン膜
- 6 裏側透明電極膜
- 7 裏側金属膜

【書類名】 図面

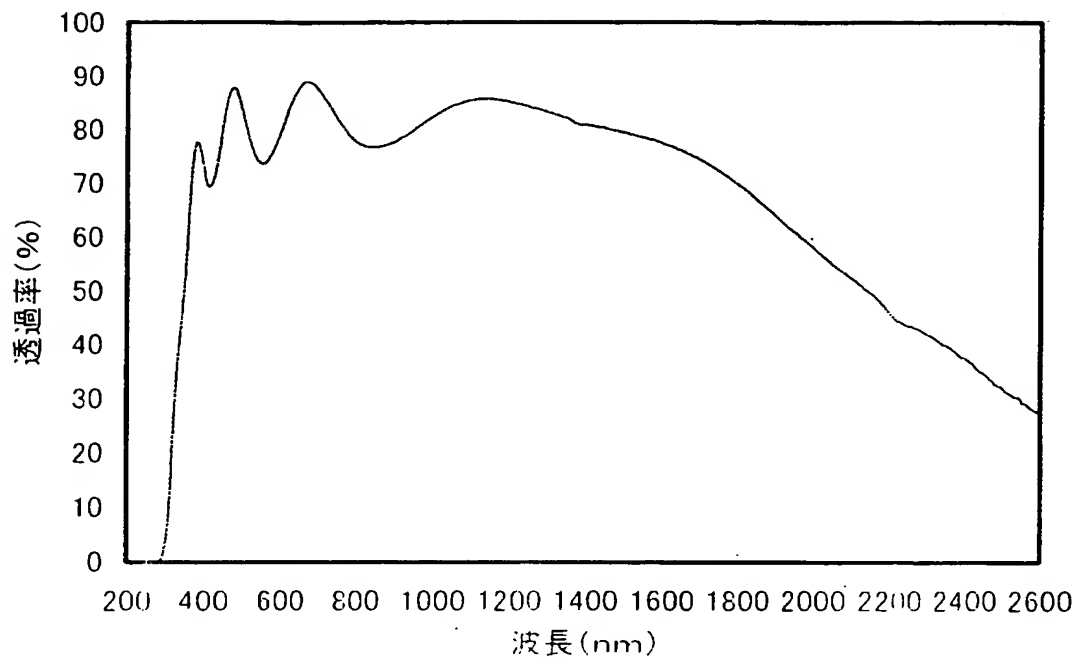
【図 1】



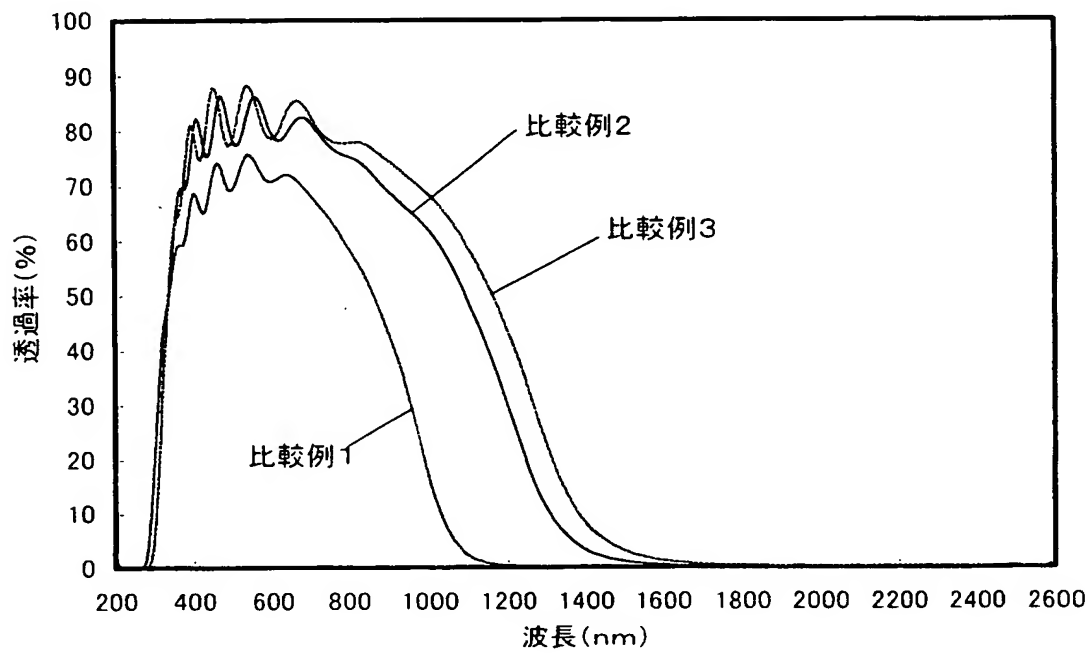
【図 2】



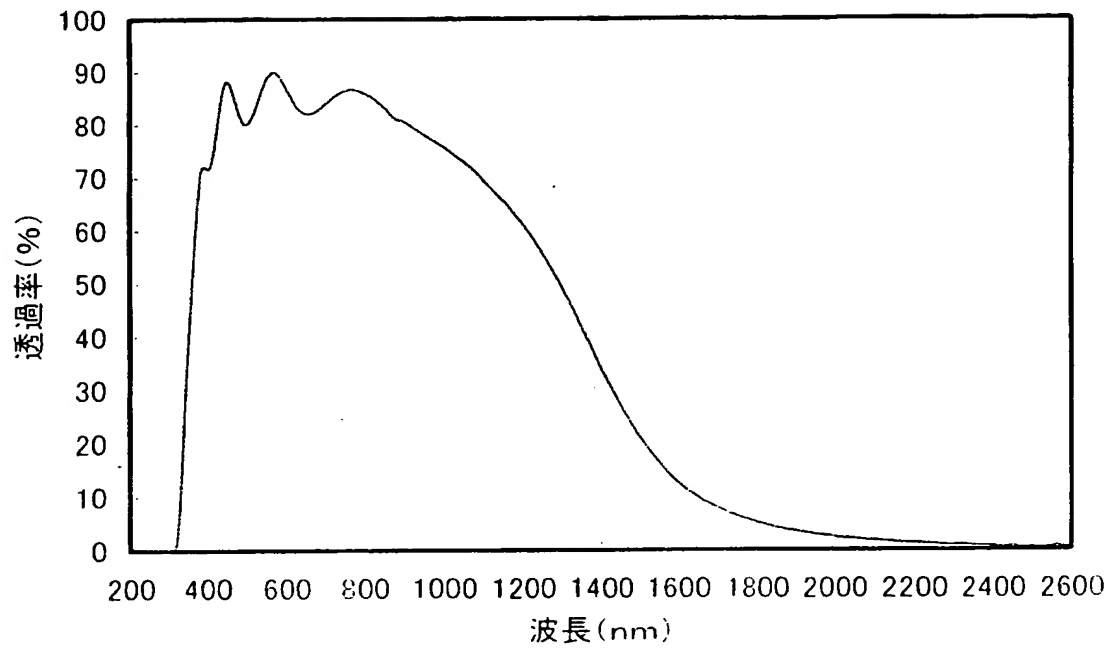
【図 3】



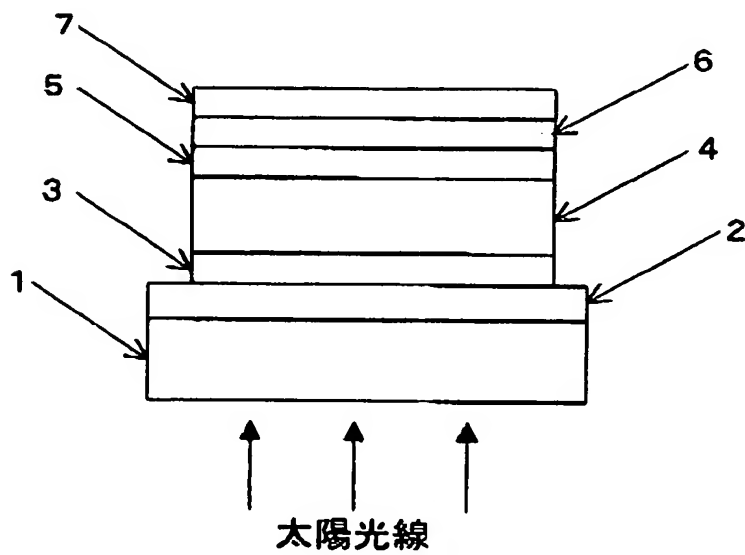
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 可視光領域だけでなく赤外線領域においても透過性に優れ、しかも低抵抗値を有する酸化物透明電極膜を提供する。

【解決手段】 チタンを含有する酸化インジウムを主成分とし、該酸化インジウムは結晶質であり、該酸化インジウムのインジウムがチタンに、チタン／インジウムの原子数比で0.010～0.120の割合で置換され、かつ酸化物透明電極膜の比抵抗が $5.7 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 以下であることを特徴とする。チタン／インジウムの原子数比で0.015～0.050の割合で、かつ酸化物透明電極膜の比抵抗が $4.0 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 以下であることがさらに好ましい。

【選択図】 なし



認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 2 9 2 4 3 4
受付番号	5 0 2 0 1 4 9 8 8 7 3
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0 0 9 4
作成日	平成 1 4 年 1 0 月 7 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成14年10月 4日
-------	-------------

次頁無

特願 2 0 0 2 - 2 9 2 4 3 4

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[ 0 0 0 1 8 3 3 0 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 6 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区新橋 5 丁目 1 1 番 3 号

氏 名

住友金属鉱山株式会社